

**POSÚDENIE SEIZMICKÝCH ÚČINKOV LIKVIDÁCIE MUNÍCIE A VÝBUŠNÍN  
VÝBUCHOM**

**APPRECIATION OF SEISMIC EFFECTS OF LIQUIDATION OF AMMUNITION  
AND EXPLOSIVES BY DETONATIONS**

**Abstract**

The paper deals with the problem of seismic effects of liquidation of ammunition and explosives by detonations on buildings on the distance 7 km from detonations. Special seismic measurements were performed for the purposes to measure velocity of the wave motion during detonations and evaluate the influence of these detonations on buildings. The result is that the damaging of the buildings is not due to these detonations.

**Key words:** seismic effects, velocity of vibration, blast

**Úvod**

Vojenskému technickému a skúšobnému ústavu (VTSU) Záhorie bola doručená sťažnosť obyvateľky na poškodzovanie jej majetku – chalupy nachádzajúcej sa v obci Plavecký Mikuláš, ul. Tehelná 240. K poškodeniu stavby podľa vyjadrenia sťažovateľky malo dôjsť v dôsledku likvidácie munície a výbušnín výbuchom v trhacích jamách v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSÚ) Záhorie. Vlastníci nehnuteľností v Plaveckom Mikuláši sú presvedčení o tom, že poškodenie ich domov je v dôsledku výbuchov výbušnín vykonávaných na teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie. Obyvatelia domov na potvrdenie svojich tvrdení uvádzajú poškodenia svojich rodinných domov.

Je skutočnosťou, že poškodenia viacerých domov sú naozaj očividné. Vzhľadom k tejto skutočnosti pre objektívne posúdenie príčiny poškodenia stavby bol okrem iného vykonaný i seizmický prieskum a posúdenie seizmických účinkov odstrelom vykonávaných na teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie.

**Dynamické účinky výbuchov**

Výbuchy výbušnín vyvolávajú dynamické zaťaženie okolitých objektov. Pri výbuchu v ľubovoľnom prostredí vzniká a šíri sa v prostredí celý rad vln (Flesch, 1993; Ljachov, 1974), nazývaných výbuchové vlny. V horninovom prostredí sú to napät'ové vlny (vlny napätia), nazývané aj seizmické vlny. Pri pozemnom výbuchu sa v horninách šíria vlny objemové pozdĺžne P a priečne S, povrchové vlny Rayleighove R a povrchové Loveove L a atmosférou sa šíri vzdušná rázová vlna, ktorá indukuje v hornine indukovanú tlakovú vlnu (Henrych, 1973; Juhásová, 1985).

Seizmické vlny pri odstrelach je možné rozdeliť na prvotné seizmické vlny a druhotné (indukované) seizmické vlny. Pri podzemnom výbuchu vznikajú len prvotné seizmické vlny, pri nadzemnom výbuchu iba druhotné seizmické vlny a pri pozemnom výbuchu (či podzemnom v blízkosti povrchu) vznikajú ako prvotné, tak i druhotné seizmické vlny. Z hľadiska účinkov na konštrukcie býva v niektorých prípadoch väčší

---

<sup>1</sup> RNDr., CSc., Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, viskup@nic.fns.uniba.sk

<sup>2</sup> Doc., RNDr., CSc., Fakulta BERG, Košice

vpływ prvotných seizmických vln a v iných prípadoch zasa druhotných seizmických vln. (Kaláb and Knejzik 2004; Kaláb. et al., 2006)

Z hľadiska pôsobenia seizmických vln na konštrukcie môžeme rozlišovať silový účinok seizmických vln a deformačný účinok seizmických vln

Silový účinok tlakových vln sa prejavuje tlakmi, prípadne ťahmi, ktorými seizmické vlny pôsobia na konštrukcie. Zvláštnym spôsobom sa silový účinok seizmických vln prejavuje u nadzemných stavieb. Tlaková vlna výbuchu, šíriaca sa v podlaží základov stavieb, naráža na ich základy, prechádza nimi do muriva, dochádza k odrazom, lomom, a difrakcii vln napätia u voľných povrchov muriva, okenných, dverových, komínových a iných otvorov, vznikajú ťahové vlny a charakteristické trhlinky v murive, vychádzajúce najmä z rohov okenných a iných otvorov.

Deformačný účinok seizmických vln sa prejavuje deformáciami (vibrácie), ktoré sú odovzdávané podlažím do základov stavby. Od vibrácií základov sa rozkmitá celá stavba. U stavieb podzemných alebo zapustených pod povrch terénu sa pohyb podlažia prenáša na celú stavbu (Viskup, 2002). Deformačný účinok seizmických síl je dvojaký - napätia v konštrukcii sú spôsobené len zotrvačnými silami alebo napätia v konštrukcii sú spôsobené zotrvačnými silami a silami plynúcimi z relatívne rôznych deformácií prvkov stavby. V tomto prípade je pohyb rôznych častí základov rôzny. V prípade rodinných domov a podobných konštrukcií môžeme očakávať výskyt tohto prípadu, nakoľko jeho základy nie sú založené na tuhej základovej doske a pôdorysný rozmer konštrukcie je rádovo rovnaký ako dĺžka seizmickej vlny.

### **Parametre arametre výbuchov v teritóriu VTSU Záhorie**

Miesto, kde sa vykonávajú výbuchy (vykonáva delaborácia), sú trhacie jamy nachádzajúce sa nachádza v teritóriu VTSU vo viatych pieskoch Záhorskej nížiny, ich mocnosť (hrúbka) je odhadovaná na 6 m a viac.

Dňa 26.10.2007 v čase od 10.25 hod. do 11.45 hod. boli pre účely seizmického prieskumu vykonané 4 odstrely munície 122 mm OF HD 30 a 5 odstrelov pyrotechnických zloží. Samotné výbuchy náloží boli realizované v čase od 10:30 do 11:00 a oznámenie o výbuchoch bolo telefonicky koordinované s meracou skupinou. V čase od 11:00 do 11:45 sa zabezpečoval odvoz prepravných zariadení na muníciu. Obsah a štruktúra jednotlivých odstrelov a munície je nasledovná:

1./ Každý z monitorovaných odstrelov munície 122 mm OF HD 30 obsahoval 13 ks munície, pričom

- každý kus munície obsahuje 3,5 kg trhaviny A IX-2.

- Celkové množstvo trhaviny A IX-2 použitej pri jednom odstrele je 45,5 kg. (13x 3.5 kg = 45.5 kg)

- Ekvivalentná hmotnosť 45,5 kg trhaviny A IX-2 je 55,96 kg TNT.

- Celkom pri štyroch monitorovaných odstreloch bolo zlikvidovaných 52 ks munície 122 mm OF HD 30.

- Jednotlivé odstrely boli vykonané v časových intervaloch 3 – 5 minút nasledujúcich po sebe.

- Tento druh munície je likvidovaný od 25.9.2007 v maximálnych množstvách 13 ks munície do jednej jamy na jeden odstreľ.

2./ Každý z monitorovaných odstrelov pyrozloží obsahoval 60 kg pyrozložie.

- Pyrozlože obsahujú zmes chlorečnanu draselného a horčika v pomere 50% a 50%  $\pm 5\%$ .

- Ekvivalentná hmotnosť 60 kg pyrozlože je 37.8 kg TNT.

- Celkom pri piatich monirovaných odstreloch bolo zlikvidovaných 300 kg pyrozloží.

- Jednotlivé odstrelly boli vykonané v časových intervaloch 3 – 5 minút nasledujúcich po sebe.

- Tento druh munície je likvidovaný od 4.6.2007 v maximálnych množstvách 90 kg pyrozlože do jednej jamy na jeden odstrel.

Odstrelly boli a bývajú realizované v jednotlivých jamách. Jednotlivé odstrelly bývajú vykonávané osobitne, v žiadnom prípade nedošlo k synchronizovanému odstrelu dvoch, alebo viacerých náloží.

### **Posúdenie technickej seizmicity v zmysle STN 73 0036 a STN 73 0031**

V prípade rodinného domu sťažovateľky v Plaveckom Mikuláši č.240 a podobne susedných domov ide o budovy bytové a občianske, objekt má predpokladanú dobu životnosti Tlf,  $asm = 100$  rokov a jeho trieda významnosti je “ II “ – ide o objekt so stredným ekonomickým alebo spoločenským významom, kam patria aj obytné a občianske objekty. Súčiniteľ účelu je  $\gamma_n = 0.95$ .

V zmysle STN 73 0036 obyčajné budovy (o.i. aj domy) zaradujeme do III. kategórie významnosti (obyčajné budovy, ktoré nie sú školy, zhromažďovacie sály, ...) súčiniteľ významnosti  $\gamma_I = 1.0$ , prípadne do IV. kategórie významnosti (budovy malého významu z hľadiska bezpečnosti obyvateľstva,...) súčiniteľ významnosti  $\gamma_I = 0.7$

U uvedených rodinných domov predpokladáme, že je dovolený stupeň poškodenia 0, to znamená, že dom musí po delaborácii (výbuchoch) v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSU) Záhorie zostať bez poškodenia, na domoch nesmú vznikáť žiadne viditeľné poškodenia, funkcie domu i všetkých jeho častí musia po odstreloch byť plne zachované, u rodinných domoch nesmie dôjsť k prekročeniu nielen 1.skupiny medzných stavov (medzné stavy únosnosti), ale ani k prekročeniu 2. skupiny medzných stavov (medzných stavov použiteľnosti) počas výbuchov v dôsledku delaborácie výbušnín v plánovanom areáli VTSU Záhorie.

U uvedených rodinných domov ide o bežné tehlové stavby, radové domčeky s pôdorysnou plochou do 200 m<sup>2</sup>, prízemné prípadne jednoposchodové, trieda odolnosti uvedených rodinných domov je “B“. Medzná hodnoty efektívnej rýchlosti vef pre triedu významnosti objektu II a pre triedu odolnosti objektu B je  $vef = 1.0$  mm.s-1. Dynamickú odozvu spôsobenú technickou seizmicitou, z hľadiska I. medzného stavu netreba ďalej analyzovať, pokiaľ na referenčnom stanovisku efektívna rýchlosť kmitania nepresiahne medzu  $vef = 1.0$  mm.s-1.

V prípade stavebných konštrukcií triedy významnosti objektu II a pre triedu odolnosti objektu B, pokiaľ efektívna rýchlosť kmitania je menšia ako  $vef = 1.4$  mm.s-1, tak netreba dynamický výpočet, pokiaľ efektívna rýchlosť kmitania je vyššia ako  $vef = 4.0$  mm.s-1, tak je treba vykonať dynamický výpočet, medziľahlé hodnoty medzi  $vef = 1.4$  mm.s-1 a  $vef = 4.0$  mm.s-1 sa posudzujú podľa úvahy.

Dynamickú odozvu spôsobenú technickou seizmicitou, s výnimkou odozvy od trhacích prác, z hľadiska I. medzného stavu netreba ďalej analyzovať, pokiaľ na referenčnom stanovisku efektívna rýchlosť kmitania nepresiahne medznú hodnotu  $vef = 1.0$  mm/s.

Pre frekvencie  $f < 10 \text{ Hz}$ , ktoré odpovedajú náložiam s ekvivalentnou hmotnosťou  $m_{ev} > 2000 \text{ kg}$ , je efektívna rýchlosť kmitania vef od 3 do 6 mm/s. Následne možno stanoviť že maximálna rýchlosť kmitania v zmysle STN 73 0036 je  $u_{max} = 3 \text{ mm/s}$ .

Rýchlosť kmitania “u” podložia objektu možno odhadnúť podľa vzťahu

$$u = K \frac{\sqrt{m_{ev}}}{1000l} \quad (1)$$

kde  $K$  – je súčiniteľ prenosu energie [ $\text{kg}^{1/2}\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ], v našom prípade orientačná hodnota  $K = 100 \text{ kg}^{1/2}\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ,  $u$  - je rýchlosť kmitania v [ $\text{m/s}$ ], v našom prípade  $u = 1.0 \text{ mm/s}$ ,  $l$  - je vzdialenosť od ťažiska odstrelu [ $\text{m}$ ], v našom prípade  $l = 7000 \text{ m}$ ,  $m_{ev}$  – je ekvivalentná hmotnosť nálože [ $\text{kg}$ ].

Po dosadení uvedených hodnôt a vypočítaní ekvivalentnej hmotnosti nálože vylýva, že ekvivalentná hmotnosť nálože v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie môže teoreticky byť  $m_{ev} = 7000 \text{ kg}$  bez toho, aby došlo ku poškodeniu konštrukcií triedy významnosti objektu II a triedy odolnosti objektu B, ktoré v tomto prípade predstavuje dom č.240 a okolité domy. V tomto prípade ide o teoretický výpočet a pre správne stanovenie súčiniteľa prenosu energie “ $K$ ” by bolo treba vykonať pokusný odstreľ, ktorý v tomto prípade bol aj vykonaný. V každom prípade hmotnosť nálože  $m_{ev} = 60 \text{ kg}$  TNT použitá pri ostreľoch v areáli VTSU Záhorie je zanedbateľná s dovoleným množstvom  $m_{ev} = 7000 \text{ kg}$ .

### Meranie účinkov výbuchov

Vplyv seizmických účinkov delaborácie výbušnín (výbuchov) v konaných v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSÚ) Záhorie na rodinný dom v Plaveckom Mikuláši č.240 bol posúdený meraním na referenčnom stanovisku, ktoré bolo v zmysle čl. 8.1 STN 73 0036 zvolené priamo na dome č.240 na pivničnom okne situovanom v obvodových múroch rodinného domu. Trojzložkový snímač bol orientovaný v smere výbuchu a v smere kolmom na výbuch, tretia zložka je vertikálna. Na meranie bol použitý vibračný monitor UVS 1504 (Pandula, Dojčár, Leššo 1996). Tento priebežne merané hodnoty vyhodnocuje v dvojsekundových intervaloch a digitalne zobrazuje maximálnu hodnotu výchylky rýchlosti kmitania v štyroch meraných zložkách  $z$ ,  $y$ ,  $x$  a  $z1$ . Ide o vibrogramy, ktoré zaznamenávajú rýchlosť kmitania v závislosti na čase, v inžinierskej praxi sa nazývajú aj čiarové diagramy. Prvá výchylka je zložka pohybu v smere lokality, druhá je zložka kolmo na ňu, tretí záznam je vertikálna zložka a štvrtý je tlaková vlna. Maximálne hodnoty sú uvedené vždy na spođu záznamu.

Cieľom meraní bolo zistiť hodnotu efektívnej rýchlosti kmitania. Terén v okolí bol štandardný, zemina mala prirodzenú vlhkosť, hladina podzemnej vody nebola známa, vonku bola relatívna zima a značný vietor. Miesto, na ktorom boli umiestnené seizmické snímače bolo pevnou súčasťou stavebnej konštrukcie rodinného domu, čo je požiadavka normy. Štvrtý snímač, merajúci účinky tlakovej vlny, bol voľne zavesený na drôte plotu.

### Výsledky meraní účinkov výbuchov

Počas ostreľov bola zastavená okolitá doprava a od všetkých sme požadovali, aby sa nepohybovali v okolí snímačov a aparatury. Vibrogramy (čiarové diagramy) na Obr.1, 2, 3 predstavujú priebežne merané hodnoty od začiatku merania (10:03) do ukončenia merania (11:00).

Na obr. 1 je uvedený záznam pred odstrelom (cieľom bolo zistiť spoľahlivý chod aparatury a úroveň okolitého šumu), výchylka hneď na začiatku záznamu dosahujúca hodnoty  $z_{\max} = 0.2 \text{ mm/s}$ ,  $y_{\max} = 0.4 \text{ mm/s}$  a  $x_{\max} = 0.8 \text{ mm/s}$  (hodnoty sú uvedené na spodu záznamu) predstavuje reakciu na dupnutie nohou v snahe overiť funkčnosť prístroja.

Obr.2 a Obr.3 predstavujú záznam odstrelu. Maximálna efektívna rýchlosť kmitania jednotlivých zložiek na vibrograme na Obr.2 je  $z_{\max} = 0.2 \text{ m/s}$ ,  $y_{\max} = 0.2 \text{ m/s}$  a  $x_{\max} = 0.15 \text{ m/s}$ , na Obr.3 je  $z_{\max} = 0.3 \text{ m/s}$ ,  $y_{\max} = 0.2 \text{ m/s}$  a  $x_{\max} = 0.15 \text{ m/s}$ .

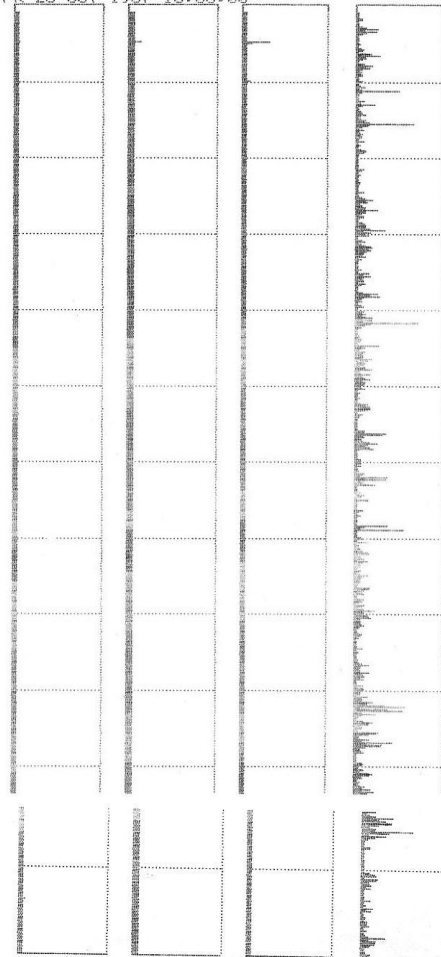
V našom prípade namerané hodnoty počas odstrelu sú:  $z_{\max} = 0.3 \text{ mm/s}$ ,  $y_{\max} = 0.2 \text{ mm/s}$ ,  $x_{\max} = 0.15 \text{ mm/s}$ , a akustický tlak  $P = 6.9879 \text{ Pa}$ . Tieto hodnoty sú pod stanovenou hodnotou  $v_d \leq 1 \text{ mm/s}$ . Tlak akustického vlnenia, môže spôsobiť poškodenia pri hodnotách nad  $100 \text{ Pa}$ . Z týchto meraní vyplýva, že žiadna hodnota zistená počas výbuchu nedosiahla medznú hodnotu efektívnej rýchlosti kmitania konštrukcie  $v_{ef} = 1.0 \text{ mm/s}$ , maximálna hodnota bola nižšia než jedna tretina tejto medznej hodnoty. Pokiaľ by sme uvažovali lineárny vzťah medzi veľkosťou nálože a uvoľnenou energiou, tak na výbuchy by sa mohla použiť nielen nálož o celkovej ekvivalentnej hmotnosti nálože  $m_{ev} = 60 \text{ kg}$ , ale nálož viac ako trojnásobne prevyšujúcu túto hodnotu, teda nálož o celkovej ekvivalentnej hmotnosti nálože  $m_{ev} = 200 \text{ kg}$ . Keďže ale vzťah medzi energiou uvoľnenou pri odstrelе v závislosti na veľkosti nálože nie je lineárny, ale logaritmický, tak by sa mohla použiť nálož presahujúca celkovú ekvivalentnú hmotnosť nálože  $m_{ev} = 200 \text{ kg}$  (Viskup, 2007).

### **Záver**

Najväčšia hodnota rýchlosti kmitania  $v_{\max} = 0.3 \text{ mm/s}$  je menšia ako dovolená medzná rýchlosť kmitania  $v_{\max} = 1.0 \text{ mm/s}$ . Seizmické účinky, generované dňa 23.10.2007 v čase 10:00 hod – 11:30 hod v trhacích jamách v teritóriu ústavu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie nemohli spôsobiť nijaké škody, ani známky poškodenia na sledovanom objekte rodinného domu v Plaveckom Mikuláši č.240 a ani na susedných domoch.

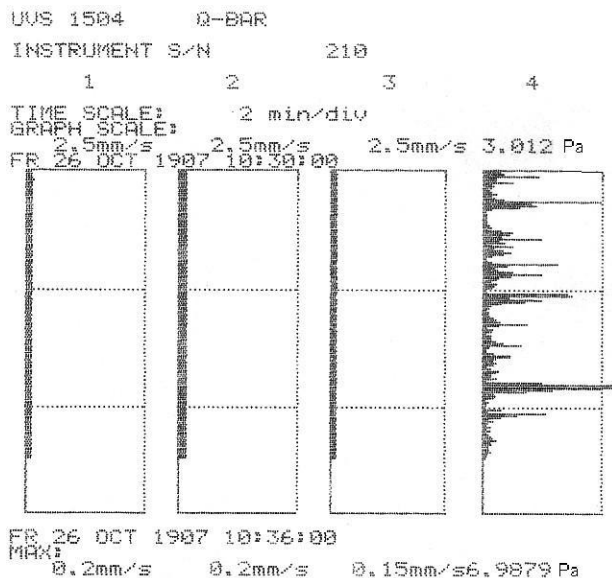
Z vykonaných meraní vyplýva, že i keby na výbuchy použili nálož o celkovej ekvivalentnej hmotnosti nálože  $m_{ev} = 200 \text{ kg}$ , teda trojnásobne prevyšujúce v súčasnosti používaných  $m_{ev} = 60 \text{ kg}$ , k poškodeniu uvedených rodinných domov by nedošlo.

UUS 1504 Q-BAR  
 INSTRUMENT S/N 210  
 1 2 3 4  
 TIME SCALE: 2 min/div  
 GRAPH SCALE:  
 0.5mm/s 2.5mm/s 2.5mm/s 3.012 Pa  
 FR 26 OCT 1997 10:06:00



FR 26 OCT 1997 10:30:00  
 MAX:  
 0.2mm/s 0.4mm/s 0.8mm/s 3.012 Pa

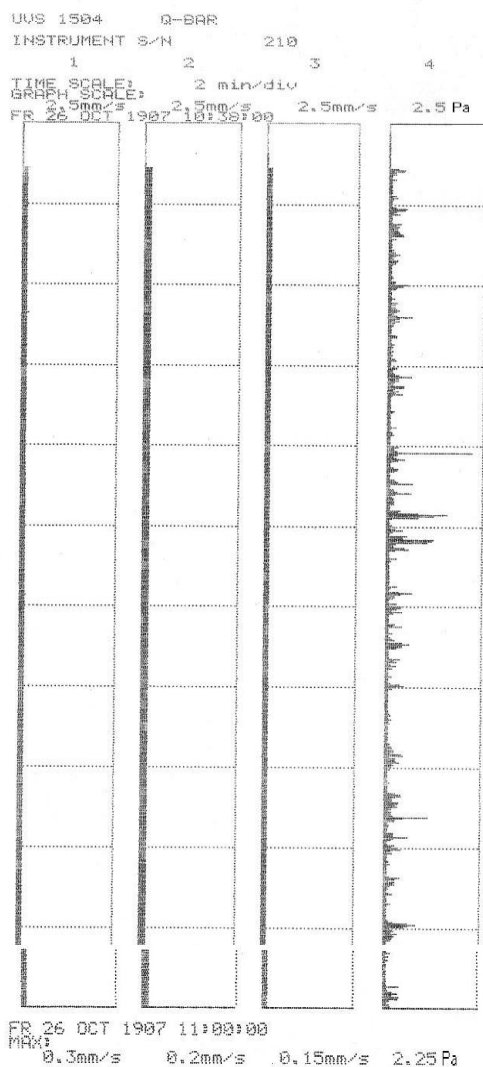
**Obr. 1** Záznam merania pred odstrelom 10:06 - 10:30



**Obr.2** Záznam merania počas odstrelu.10:30 – 10:36

K poškodeniu statiky rodinných domov (a to je očividné) mohlo dôjsť jednak v dôsledku nesprávneho založenia konštrukcie domu, jednak v dôsledku nevhodných geotechnických pomerov ale tiež i dynamických účinkov výbuchov, ale produkovaných nie v trhacích jamách v teritóriu VTOZ Záhorie ale v kameňolomoch v Solološnici či v Rohožníku. V kameňolomoch sa požívajú nálože dosahujúce ekvivalentnú hmotnosť nálože niekoľko tisíc kg.(napr. pri pokusnom odstrel v lome Lietavská Svinná pri hrade Lietavská Lúčka ekvivalentná hmotnosť nálože bola  $m_{ev} = 2316$  kg.

Konštatujeme, že teritórium VTSÚ Záhorie predstavuje priam ideálny terén pre ničenie a likvidáciu munície a výbušnin výbuchom, nakoľko trhacie jamy sa nachádzajú v pieskoch, ktorých hrúbka (mocnosť) je niekoľko metrov (geológmi odhadovaná najmenej na šesť až desať metrov a viac). U pieskov dochádza ku značnému pohlcovaniu (absorbácii) seizmickej energie, teda energie výbuchu, koeficient absorpcie seizmického vlnenia u pieskov je podstatne vyšší v porovnaní s koeficientom absorpcie u skalných hornín.



**Obr.3** Záznam merania počas odsrelov 10:38 – 11:00

### Literatúra

- [1] STN 73 0036. Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií. Slovenská technická norma. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, Bratislava, 1997, 68 str.
- [2] STN 73 0031 Spoločnosť stavebných konštrukcií a základových pôd. Prevzatá ČSN 73 0031.
- [3] P ENV 1991 - 2 - 7 Zásady navrhovania stavebných konštrukcií. Časť 2.7. Mimoriadne zaťaženie rázmi a explóziami.



- [4] ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd. Rev.vyd. Ústav pro normalizaci a měření, Praha, 1988, 24 s.
- [5] ČSN 73 0031 Komentář k ČSN 73 0031. Ústav pro normalizaci a měření, Praha, 1980, 104 s.
- [6] ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí. Ústav pro normalizaci a měření, Praha, 1986, 168 s.
- [7] ČSN 73 0036 Seismická zatížení staveb. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha, 1973, 45 s.
- [8] EUROCODE8. Design provisions for earthquake resistance. Part 1. General rules, seismic actions and rules for buildings. British-Adopted European Standard / 08-Apr-2005 / 232 p.
- [9] Flesch, R. (1993): Baudynamik. Bauverlag GMBH, Wiesbaden, 543 p.
- [10] Henrych, J. (1973): Dynamika výbuchu a její užití. ACADEMIA, Praha, 412 s.
- [11] Juhásová, E. (1985): Pôsobenie seizmických pohybov na stavebné konštrukcie. VEDA, Bratislava, 264 s.
- [12] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2004): Experimentální měření seismických účinků trhavých prací v historickém dole Jeroným. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební), roč. IV, č.2/2004, str. 159-166.
- [13] Kaláb, Z., Knejzlík, J. a Lednická, M. (2006): Vibrace vyvolané odstřelem trhavin při ražbě mělkého důlního díla. Geotechnika 2006, zborník medzinárodnej konferencie, ORGWARE a a FAST, VŠB-TU Ostrava, str. 317-324.
- [14] Ljachov, G.M. (1974): Osnovy dynamiky vzryvnych voln v gruntach i gornych porodach. NEDRA, Moskva, 192 s.
- [15] Pandula, B., Dojčár, O. a Leššo, I. (1996): Seizmická aparátúra UVS 1504, jej možnosti a využitie. Acta Montanistica Slovaca, Roč. 1 (1996), 3, str. 202-208
- [16] Viskup, J.(2002): Posudok na ložisko lietava Drieňovica. KAEG PFUK, Bratislava, 2003, 9 s.
- [17] Viskup, J. (2007): Posúdenie seizmických účinkov likvidácie munície a výbušnín výbuchom v trhavých jamách v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSÚ) Záhorie. SEISCOMP, Bratislava, 36 s.

